



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 50 391 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 B 11/24
G 02 B 5/00
G 02 B 27/14
A 61 C 19/04

⑳ Aktenzeichen: 196 50 391.4
㉔ Anmeldetag: 5. 12. 96
㉕ Offenlegungstag: 10. 6. 98

DE 196 50 391 A 1

㉑ Anmelder:
Leica Lasertechnik GmbH, 69120 Heidelberg, DE

㉒ Vertreter:
Ulrich & Naumann, 69115 Heidelberg

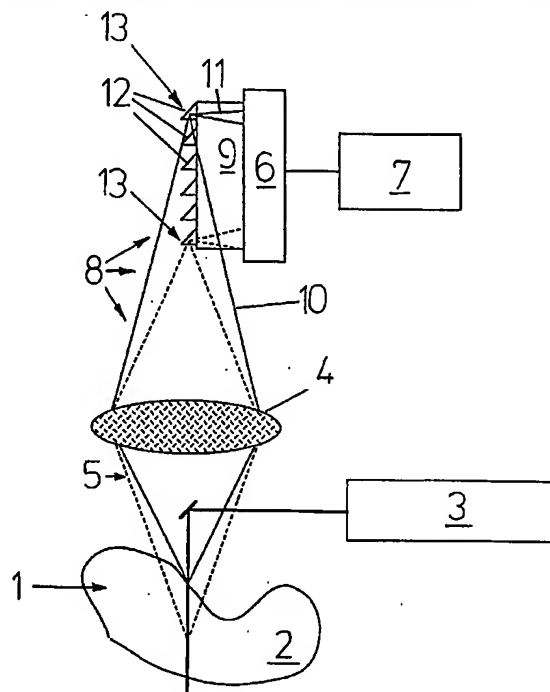
㉓ Erfinder:
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;
Zapf, Thomas, Dr., 67346 Speyer, DE; Ulrich,
Heinrich, Dr., 69121 Heidelberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Anordnung und Verfahren zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte

⑤7 Eine Anordnung und ein Verfahren zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils (1) beliebiger Objekte (2), insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen, mit einer Lichtquelle (3) zur Beleuchtung des Objekts (2), einer Optik (4) zur Fokussierung der von der Oberfläche (1) des Objekts (2) zurückkehrenden Lichtsignale (5), einem die Lichtsignale (5) aufnehmenden Detektor (6) und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor (7), ist zur schnellen und dabei reproduzierbaren Abtastung des Oberflächenprofils (1) bei geringstmöglichem apparativen Aufwand und unter Gewährleistung einer vertretbaren Baugröße gekennzeichnet durch einen im Detektionsstrahlengang (8) der Optik (4) nachgeordneten und dem Detektor (6) vorgeordneten Strahlauskoppler (9) zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Bildebenen zurückkehrenden Lichts (10), wobei das ausgekoppelte Licht (11) dem Detektor (6) zugeleitet wird.



DE 196 50 391 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, mit einer Lichtquelle zur Beleuchtung des Objekts, einer Optik zur Fokussierung der von der Oberfläche des Objekts zurückkehrenden Lichtsignale, einem die Lichtsignale aufnehmenden Detektor und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor. Des weiteren betrifft die Erfindung eine besondere Verwendung der erfindungsgemäßen Anordnung zum Lesen und Schreiben digitaler bzw. binärer Informationen von einem optischen Datenträger bzw. auf einen optischen Datenträger.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Anordnung und ein Verfahren zur Vermessung von Oberflächen jedweder Art und jedweder Kontur, und zwar unter Nutzung der aus der Konfokalmikroskopie bekannten Technik. Aus der Praxis sind bereits unterschiedliche Anordnungen und Verfahren zur Oberflächenvermessung bekannt.

So läßt sich beispielsweise mittels eines Lichtschnittsensors eine Lichtlinie auf das Objekt projizieren und mit einer CCD-Kamera unter einem Winkel beobachten. Die geometrische Verformung der Lichtlinie wird dabei gemessen. Aus dieser Verformung werden die Höhendifferenzen auf dem Objekt berechnet. Durch Verschiebung des Objekts unter dem Sensor – senkrecht zur Lichtlinie – und durch wiederholte Messung eines Profils läßt sich seriell die Oberflächenform vermessen beziehungsweise bestimmen.

Zwar handelt es sich bei dem Lichtschnittsensor um einen einfach aufgebauten und dabei robusten Sensor, jedoch führt die hier erforderliche Schrägbeleuchtung zu einer einseitigen Abschattung steiler Stellen. Dadurch entstehen Asymmetrien in der Abbildung beziehungsweise Ungenauigkeiten. Des weiteren werden durch Streuung von Licht aus verschiedenen Tiefen beispielsweise eines zumindest teiltransparenten Zahnmaterials die Messungen abermals ungenau beziehungsweise verfälscht.

Des weiteren ist es aus der Praxis auch bereits bekannt, mittels konfokaler Mikroskopie Oberflächen zu scannen und daraus dreidimensionale Aufnahmen der Oberfläche zu generieren. Hierzu wird lediglich beispielhaft auf Johann Engelhardt und Werner Knebel in Physik in unserer Zeit, 24. Jahrg. 1993, Nr. 2 "Konfokale Laserscanning-Mikroskopie" und D.K. Hamilton und T. Wilson in Appl. Phys. B 27, 211–213, 1982 "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope" verwiesen.

Die konfokale Mikroskopie eignet sich zur Oberflächenvermessung von Zahnoberflächen ganz besonders, da nach diesem Verfahren lediglich diejenigen Strukturen abgebildet werden, die sich unmittelbar in der Brennebene des Mikroskopobjektivs befinden. Meßfehler aufgrund des teiltransparenten Zahnmaterials sind somit wirksam vermieden. Dem heutigen Standard entsprechende konventionelle Konfokalmikroskope weisen jedoch aufgrund ihrer Universalität eine ganz erhebliche Baugröße auf, so daß sie zur polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils unterschiedlichster Objekte, beispielsweise zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, aufgrund ihrer Baugröße nicht geeignet sind. Darüber hinaus sind herkömmliche Konfokalmikroskope für zahlreiche einfache Anwendungen wie die reine Profilometrie zu kompliziert im Aufbau und daher viel zu teuer.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte sowie ein entsprechendes Verfahren anzugeben, wonach eine schnelle und dabei reproduzierbare Abtastung des Oberflächenprofils

bei geringst möglichem beziehungsweise kleinstem apparativem Aufwand und unter Gewährleistung einer vertretbaren Baugröße der Anordnung möglich ist.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs genannte Anordnung gekennzeichnet durch einen im Detektionsstrahlengang der Optik nachgeordneten und dem Detektor vorgeordneten Strahlauskoppler zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Bildebenen des Objekts zurückkehrenden Lichts, wobei das ausgekoppelte Licht dem Detektor zugeleitet wird.

Erfindungsgemäß ist hier erkannt worden, daß es grundsätzlich möglich ist, vom Objekt über eine Optik zurückkehrendes Licht aus unterschiedlichen Bildebenen des Objekts gleichzeitig auszukoppeln, wobei das ausgekoppelte Licht dem Detektor bzw. mehreren Detektoren zugeleitet wird. Die Auskopplung erfolgt durch einen im Detektionsstrahlengang der Optik nachgeordneten und dem Detektor vorgeordneten Strahlauskoppler, der – wie bereits gesagt – gleichzeitig an mehreren Foki des zurückkehrenden Lichts zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils des Objektes auskoppeln kann. Letztendlich erfolgt hier eine gleichzeitige Abtastung des Objekts in mehreren Fokalebene, wobei das Oberflächenprofil des Objekts insgesamt abgescannt bzw. abgerastert wird.

In besonders vorteilhafter Weise ist der Strahlauskoppler im Detektionsstrahlengang vorzugsweise zentral angeordnet und umfaßt in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts Umlenkmittel, die der Auskopplung des Lichts hin zu dem Detektor bzw. zu den Detektoren dienen. Im konkreten sind die Umlenkmittel im Detektionsstrahlengang in Strahlrichtung gesehen hintereinander angeordnet, wobei die jeweils vorderen Umlenkmittel Zentralbereiche des Gesamtstrahls des zurückkehrenden Lichts für die nachfolgenden Umlenkmittel ausblenden. Ungeachtet dieser Ausblendung reicht das verbleibende Licht immer noch aus, damit an den nächsten Umlenkmittel eine abermalige Ausblendung des zurückkehrenden Lichts – jeweils aus einer anderen Fokalebene des Objekts – stattfinden kann.

Im Rahmen einer ersten konkreten Ausgestaltungsmöglichkeit könnte der Strahlauskoppler als lichtdurchlässiger Plattenstapel mit im Detektionsstrahlengang unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten, als Umlenkmittel dienenden Platten ausgebildet sein. Dabei könnten die lichtdurchlässigen Platten zumindest bereichsweise mit einer Reflexionsschicht versehen sein, so daß bei entsprechender Anordnung der Reflexionsschichten – hintereinander in etwa im Zentrum des Detektionsstrahlenganges – eine gestufte Auskopplung des zurückkehrenden Lichts aus unterschiedlichen Fokalebene erfolgt. Im Rahmen dieser Ausgestaltung ist jedenfalls wesentlich, daß die einzelnen Platten lichtdurchlässig ausgeführt sind und daß eine Reflexion bzw. Auskopplung lediglich an den zonal vorgesehenen Reflexionsschichten erfolgt.

Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltungsmöglichkeit könnte der Strahlauskoppler als vorzugsweise monolithischer Plexiglasbaustein mit im Detektionsstrahlengang unter einem vorgegebenen Winkel vorzugsweise hintereinander angeordneten integralen Umlenkmitteln ausgeführt sein. Ein solcher Plexiglasbaustein bzw. die dort integral angeordneten Umlenkmittel könnten frästechnisch herausgearbeitet sein, wobei auf den integralen Umlenkmitteln ebenfalls Reflexionsschichten aufgebracht sind. Diese Reflexionsschichten reflektieren das zurückkehrende Licht aus unterschiedlichen Fokalebene und koppeln das Licht entspre-

chend der Foki zu dem Detektor hin aus.

Ebenso wäre es denkbar, den Strahlauskoppler als Hintereinanderschaltung von Pinholes auszuführen. Das zurückkehrende Licht würde dann im Bereich eines Brennpunkts an jeweils einem Pinhole ausgeblendet werden und würde ansonsten zum nächsten Pinhole hin reflektiert werden. Der reflektierte Anteil des Lichts würde dort wiederum im Bereich eines Brennpunkts ausgeblendet und ansonsten abermals reflektiert werden. Mehrere solcher Pinholes lassen sich miteinander kommunizierend anordnen, wobei zur Reflexion des jeweils nicht ausgekoppelten Lichts unter einem vorgegebenen Winkel angeordnete, miteinander im Strahlengang kommunizierende Spiegel verwendbar sind. Diese Spiegel weisen die zur Ausblendung erforderlichen Pinholes als Durchgänge in sich auf.

Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltungsmöglichkeit des Strahlauskopplers könnte dieser ein Gehäuse oder einen lichtleitenden Körper umfassen. Sowohl das Gehäuse als auch der lichtleitende Körper wäre mit einer optischen Öffnung im Detektionsstrahlengang des zurückkehrenden Lichts anzuordnen, damit nämlich das zurückkehrende Licht in diese optische Öffnung einfallen kann. Das einfallende Licht könnte entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an gegenüberliegenden Pinholes im jeweiligen Brennpunkt – aus entsprechenden Brennebenen des Objekts – zu den Detektoren hin teilausgeblendet werden. Die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen könnten wiederum als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes ausgeführt sein.

Des weiteren wäre es möglich, die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen exakt parallel zueinander auszubilden, wobei es sich bei den Reflexionsflächen grundsätzlich um Wandungen des Gehäuses oder um Oberflächen eines aus Vollmaterial bestehenden Glaskörpers oder dergleichen handeln kann.

Bei dem Gehäuse bzw. dem lichtleitenden Körper könnten sich die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen von der optischen Öffnung aus ins Innere des Gehäuses bzw. des Körpers voneinander entfernen, d. h. divergieren. Insofern würde sich der zur Ausbreitung des insoweit bereits umgelenkten Lichts zur Verfügung stehende Raum stetig oder unstetig erweitern. Eine der beiden Reflexionsflächen könnte dabei stufig ausgebildet sein, d. h. sich von der gegenüberliegenden Reflexionsfläche in Stufen entfernen. Jede der dabei entstehenden Teilflächen könnte wiederum ein Pinhole oder eine Gruppe von Pinholes zur Ausblendung in einem jeweiligen Brennpunkt aufweisen.

In den gegenüberliegenden Reflexionsflächen könnten ebenso gruppenweise Pinholes zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sein. An dieser Stelle sei hervorgehoben, daß unmittelbar an den Pinholes oder im Bereich der Pinholes geeignete Detektoren zur Aufnahme des ausgeblendeten Lichts angeordnet sein können. So ließen sich auf den Reflexionsflächen gegenüberliegenden Seiten beispielsweise Lichtleitfasern, Dioden oder sonstige optisch arbeitende Detektoren anordnen.

Der Strahlauskoppler könnte im Rahmen einer weiteren Alternative mehrere mit vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen mit Pinholes aufweisen. Die Reflexionsflächen könnten insgesamt eine Polygonanordnung ergeben. Auch hier wird an den Pinholes in jeweiligen Brennpunkten ausgekoppelt und das ausgekoppelte Licht durch einen Detektor aufgenommen.

Der Strahlauskoppler könnte ebenso als Spaltsystem mit mehreren nebeneinanderliegenden Spalten zur parallelen Detektion der x- und z-Koordinaten des zurückkehrenden

Lichts ausgebildet sein, so daß eine simultane Detektion mehrere Bildpunkte in einer Brennebene möglich ist.

Schließlich könnten als Strahlauskoppler im Detektionsstrahlengang vorzugsweise zentral in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts endende Lichtleitfasern vorgesehen sein, wobei die Lichtleitfasern das ausgekoppelte Licht einem Fotomultiplier zuführen. Wesentlich ist hier jedenfalls, daß im Strahlengang des zurückkehrenden Lichts eine in jeweiligen Brennpunkten gestaffelte Lichtauskopplung stattfindet, daß das ausgekoppelte Licht einem Detektor zugeführt wird und daß eine analoge oder digitale Signalverarbeitung, u. a. auch zur Kompensation nichtlinearer Geometrieeffekte und ggf. mit Interpolation zur höheren Auflösung, nachgeschaltet ist.

Dem Strahlauskoppler können unterschiedliche Detektoren nachgeschaltet sein, so beispielsweise singuläre Detektoren, Detektorarrays, lineare oder flächige CCDs, Dioden, Fotomultiplier, Diodenanordnungen bzw. positionssensitive Dioden, etc., wobei der Strahlauskoppler und die Detektoren in funktionaler Hinsicht und auch baugruppenmäßig kombiniert sein können.

Im Falle einer funktionalen und baugruppenmäßigen Kombination von Strahlauskoppler und Detektor könnten im Detektionsstrahlengang vorzugsweise zentral Dioden in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts angeordnet sein, die aufgrund ihrer Hintereinanderschaltung als positionsempfindliche Dioden arbeiten.

Hinsichtlich der Beleuchtung des Objekts ist es von Vorteil, wenn es sich dabei um eine polyfokale Beleuchtung z. B. durch hohe sphärische Aberration, Zonenlinsen, etc. handelt. Jedenfalls wird das Objekt über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtet, wobei zur polyfokalen Beleuchtung beispielsweise eine Laserlichtquelle verwendet werden kann. Wie bereits zuvor erwähnt, läßt sich die polyfokale Beleuchtung durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen, Hologramme, etc. erzeugen, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen erfolgt. Die Oberfläche selbst kann obendrein mit Streu- oder Fluoreszenzmitteln präpariert werden, um ganz besondere Effekte im Streu- oder Reflexionslicht ausnutzen zu können.

Hinsichtlich eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird die hier zugrundeliegende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 27 gelöst. Danach handelt es sich hier um ein Verfahren zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, mit einer Lichtquelle zur Beleuchtung des Objekts, einer Optik zur Fokussierung der von der Oberfläche des Objekts zurückkehrenden Lichtsignale, einem die Lichtsignale aufnehmenden Detektor und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor, vorzugsweise zur Anwendung einer Anordnung gemäß voranstehender Beschreibung.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß das aus unterschiedlichen Bildebenen zurückkehrende Licht aus dem Detektionsstrahlengang im Bereich nach der Optik und vor dem Detektor ausgekoppelt wird und daß das ausgekoppelte Licht dem Detektor zugeleitet wird, wobei es sich bei dem Detektor um einen singulären Detektor oder um eine Detektoranordnung bzw. um einzelne Detektoren handeln kann.

Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es des weiteren von ganz besonderem Vorteil, wenn das Objekt über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtet wird, wenn nämlich eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen am Objekt erfolgt. Im konkreten kann eine polyfokale Beleuchtung des Objekts durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen, Hologramme oder ähnliches er-

zeugt werden.

Schließlich wird in weiter erfindungsgemäßer Weise die Verwendung einer erfindungsgemäßen Anordnung unter Nutzung des erfindungsgemäßen Verfahrens beansprucht, und zwar zum Lesen digitaler bzw. binärer Informationen aus mehreren Ebenen eines dreidimensionalen optischen Datenträgers. Ebenso wird eine entsprechende Verwendung zum Schreiben digitaler bzw. binärer Informationen auf mehrere Ebenen eines dreidimensionalen optischen Datenträgers beansprucht. Mit anderen Worten soll hier das Grundprinzip der polyfokalen Mikroskopie unter Zugrundelegung des hier realisierten Auskopplungs- und Detektionsprinzips einerseits zum Lesen dreidimensionaler optischer Datenspeicher und andererseits zum Schreiben in dreidimensionale optische Datenspeicher genutzt werden, wobei das hier in Rede stehende Prinzip ungeachtet der zu vermittelnden Energiebeträge anwendbar ist.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die den Patentansprüchen 1 und 27 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung verschiedener Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung den grundsätzlichen Aufbau einer erfindungsgemäßen Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte,

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung die Anordnung aus Fig. 1 in einer Draufsicht,

Fig. 3 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines als Plattenstapel ausgebildeten Strahlenskopplers mit Detektorarray,

Fig. 4 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines als monolithischer Plexiglasblock ausgebildeten Strahlenskopplers nebst Detektorarray, und zwar links in einer Seitenansicht und rechts in einer Draufsicht,

Fig. 5 in einer schematischen Darstellung eine weitere Möglichkeit zur Strahlenskopplung durch Hintereinanderschaltung von Spiegeln beziehungsweise Pinholes nebst Detektoren,

Fig. 6 in einer schematischen Darstellung einen Strahlenskoppler mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen,

Fig. 7 in einer schematischen Darstellung den Gegenstand aus Fig. 6 in einer Draufsicht auf die zur Strahlenskopplung dienenden Pinholes,

Fig. 8 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlenskopplers gemäß Fig. 6, jedoch mit divergierenden gegenüberliegenden Reflexionsflächen,

Fig. 9 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlenskopplers mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen, wobei eine der Reflexionsflächen stufig ausgeführt ist,

Fig. 10 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlenskopplers mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen, wobei gruppenweise Pinholes zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sind,

Fig. 11 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlenskopplers mit Reflexionsflächen in Polygonanordnung,

Fig. 12 in einer schematischen Darstellung ein als Spaltsystem ausgebildeter Strahlenskoppler,

Fig. 13 in einer schematischen Darstellung die spalten-

weise Abbildung des Objekts mittels einer 2d-Kamera oder mit Y-Scan,

Fig. 14 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur polyfokalen Beleuchtung des Objekts und

Fig. 15 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel zur polyfokalen Beleuchtung.

Die Fig. 1 und 2 zeigen schematisch eine Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des hier lediglich ange deuteten Oberflächenprofils 1 beliebiger Objekte 2, wobei es sich hier insbesondere um die Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen handelt. Die Anordnung umfaßt eine Lichtquelle 3 zur Beleuchtung des Objekts 2, eine Optik 4 zur Fokussierung der von der Oberfläche 1 des Objekts 2 zurückkehrenden Lichtsignale 5, einen die Lichtsignale 5 aufnehmenden Detektor 6 und einen die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor 7.

Erfindungsgemäß ist im Detektionsstrahlengang 8 der Optik 4 nachgeordnet und dem Detektor 6 vorgeordnet ein Strahlenskoppler 9 vorgesehen, der zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Bildebenen des Objekts 2 zurückkehrenden und durch die Optik 4 fokussierten Lichts 10 dient, wobei das ausgekoppelte Licht 11 dem Detektor 6 zugeleitet wird.

Fig. 1 läßt des weiteren erkennen, daß der Strahlenskoppler 9 im Detektionsstrahlengang 8 zentral angeordnete Umlenkmittel 12 in den jeweiligen Brennpunkten 13 des zurückkehrenden Lichts 10 aufweist. Die Umlenkmittel 12 sind im Detektionsstrahlengang 8 hintereinander angeordnet, wobei die jeweils vorderen Umlenkmittel 12 Zentralbereiche des in Fig. 2 schematisch dargestellten Gesamtstrahls 14 des zurückkehrenden Lichts 10 für die nachfolgenden Umlenkmittel 12 ausblenden.

Fig. 3 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäß verwendbaren Strahlenskopplers 9, der nämlich als lichtdurchlässiger Plattenstapel 15 mit im Detektionsstrahlengang 8 unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten, als Umlenkmittel 12 dienenden Platten 16 ausgebildet ist. Die lichtdurchlässigen Platten 16 sind bereichsweise mit Reflexionsschichten 17 versehen, die im Detektionsstrahlengang 8 wiederum hintereinander angeordnet sind und zur Auskopplung des zurückkehrenden Lichts 10 in den jeweiligen Brennpunkten dienen.

Gemäß der Darstellung in Fig. 4 ist der Strahlenskoppler 9 als monolithischer Plexiglasbaustein 18 mit im Detektionsstrahlengang 8 unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten integralen Umlenkmitteln 12 ausgeführt, wobei auch diese Umlenkmittel 12 vorzugsweise mit einer in Fig. 4 nicht dargestellten Reflexionsschicht versehen sind. Sowohl dem Strahlenskoppler 9 gemäß Fig. 3 als auch dem Strahlenskoppler 9 gemäß Fig. 4 ist jeweils ein Detektorarray 19 nachgestaltet, wobei es sich hier ebenso um positionsempfindliche Dioden handeln kann.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlenskopplers 9, der nämlich als Hintereinanderschaltung von Pinholes 20 ausgeführt ist. Das zurückkehrende Licht 10 wird dabei im Bereich eines Brennpunkts 21 an einem Pinhole 20 ausgeblendet und ansonsten zum nächsten Pinhole 20 hin reflektiert. Der reflektierte Anteil des Lichts 22 wird dort wiederum im Bereich eines Brennpunkts 21 ausgeblendet und ansonsten abermals reflektiert. Dieser Vorgang kann sich mehrfach wiederholen, so daß mehrere Ausblendungen in kaskadierter Form stattfinden. Das jeweils nicht ausgekoppelte Licht wird gemäß dem hier gewählten Ausführungsbeispiel mittels miteinander kommunizierender Spiegel 23 reflektiert und an den dort ausgebildeten Pinholes 20 jeweils ausgeblendet.

Gemäß den Fig. 6 bis 10 kann der Strahlenskoppler 9 ein

Gehäuse 24 oder einen lichtleitenden Körper umfassen, der eine mittig im Detektionsstrahlengang 8 anordenbare optische Öffnung 25 für das unter einem bestimmten Winkel einfallende, zurückkehrende Licht 10 aufweist. Das einfallende Licht 10 wird dabei entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen 26, 27 entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an gegenüberliegenden Pinholes 20 im jeweiligen Brennpunkt 21 zu den in den Fig. 6 bis 10 nicht gezeigten Detektoren teilausgeblendet. Lediglich zur besseren Übersicht wurde hier auf eine besondere Darstellung einzelner Detektoren verzichtet.

Im konkreten sind die beiden einander gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes 20 ausgeführt. Gemäß dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 parallel zueinander ausgebildet. Bei dem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel weist lediglich die Reflexionsfläche 27 Pinholes 20 auf und divergieren die beiden Reflexionsflächen 26, 27 von der optischen Öffnung 25 aus ins Innere des Gehäuses 24.

Bei dem in Fig. 9 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Reflexionsfläche 26 stufig ausgebildet und entfernt sich von der optischen Öffnung 25 ins Innere des Gehäuses 24 von der gegenüberliegenden Reflexionsfläche 27, wobei auch hier lediglich die Reflexionsfläche 27 Pinholes 20 aufweist.

Bei dem in Fig. 10 gezeigten Ausführungsbeispiel sind in den gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 gruppenweise Pinholes 20 zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen.

Gemäß der Darstellung in Fig. 11 ist der Strahlauskoppler 9 im Sinne einer Polygonanordnung ausgeführt, weist nämlich der Strahlauskoppler 9 mehrere mit vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen 26 auf, in denen wiederum Pinholes 20 ausgebildet sind. Nicht ausgeblendetes Licht wird an den Reflexionsflächen 26 reflektiert und gelangt als reflektierter Anteil des Lichts 22 zu dem jeweils nächsten Pinhole 20.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers 9 zeigt Fig. 12. Dieser Strahlauskoppler 9 ist nämlich als Spaltsystem mit mehreren nebeneinander liegenden Spalten 28 zur parallelen Detektion der x- und z-Koordinaten des zurückkehrenden Lichts ausgebildet, so daß eine simultane Detektion mehrerer Bildpunkte in einer Brennebene möglich ist.

Fig. 13 zeigt eine entsprechende Abbildung der Spalte 28 mittels einer 2d-Kamera in Realtimeprofilometrie, wobei eine solche Abbildung auch mit Y-Scan erzeugt werden kann. Ein dreidimensionaler Datensatz ließe sich bei 50 Schnitten pro Sekunde (video) in etwa einer Sekunde erzeugen.

Schließlich beziehen sich die Fig. 14 und 15 auf die polyfokale Beleuchtung des Objekts 2, wozu eine Laserlichtquelle vorgesehen sein kann. Jedenfalls läßt sich die polyfokale Beleuchtung beispielsweise durch eine in Fig. 14 lediglich angedeutete Zonenlinse 29 realisieren, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen 30 erfolgt. Fig. 15 bezieht sich ebenfalls auf die Möglichkeit einer polyfokalen Beleuchtung, bei der das Licht auf unterschiedliche Brennebenen 30 zur strukturierten Beleuchtung fokussiert wird, und zwar mittels einer Mehrfachreflexionsplatte 31, wodurch ebenfalls mehrere Brennpunkte in mehreren Brennebenen 30 erreicht werden.

Hinsichtlich der ebenfalls beanspruchten Verwendungen der zuvor erörterten Anordnung wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die allgemeine Beschreibung verwiesen.

1. Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils (1) beliebiger Objekte (2), insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen, mit einer Lichtquelle (3) zur Beleuchtung des Objekts (2), einer Optik (4) zur Fokussierung der von der Oberfläche (1) des Objekts (2) zurückkehrenden Lichtsignale (5), einem die Lichtsignale (5) aufnehmenden Detektor (6) und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor (7), gekennzeichnet durch einen im Detektionsstrahlengang (8) der Optik (4) nachgeordneten und dem Detektor (6) vorgeordneten Strahlauskoppler (9) zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Bildebenen des Objekts (2) zurückkehrenden Lichts (10), wobei das ausgekoppelte Licht (11) dem Detektor (6) zugeleitet wird.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) im Detektionsstrahlengang (8) vorzugsweise zentral angeordnete Umlenkmittel (12) in den jeweiligen Brennpunkten (13) des zurückkehrenden Lichts (10) aufweist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenkmittel (12) im Detektionsstrahlengang (8) hintereinander angeordnet sind, wobei die jeweils vorderen Umlenkmittel (12) Zentralbereiche des Gesamtstrahls (14) des zurückkehrenden Lichts (10) für die nachfolgenden Umlenkmittel (12) ausblenden.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) als lichtdurchlässiger Plattenstapel (15) mit im Detektionsstrahlengang (8) unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten, als Umlenkmittel (12) dienende Platten (16) ausgebildet ist.

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtdurchlässigen Platten (16) zumindest bereichsweise mit Reflexionsschichten (17) versehen sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) als vorzugsweise monolithischer Plexiglasbaustein (18) mit im Detektionsstrahlengang (8) unter einem vorgegebenen Winkel vorzugsweise hintereinander angeordneten integralen Umlenkmitteln (12) ausgeführt ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf den integralen Umlenkmitteln (12) Reflexionsschichten (17) ausgebildet sind.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) als Hintereinanderschaltung von Pinholes (20) ausgeführt ist und daß das zurückkehrende Licht (10) im Bereich eines Brennpunkts (21) an einem Pinhole (20) ausgeblendet, ansonsten zum nächsten Pinhole (20) hin reflektiert, der reflektierte Anteil des Lichts (22) dort wiederum im Bereich eines Brennpunkts (21) ausgeblendet und ansonsten abermals reflektiert wird, etc.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Reflexion des jeweils nicht ausgekoppelten Lichts (22) unter einem vorgegebenen Winkel angeordnete, miteinander kommunizierende Spiegel (23) mit Pinholes (20) vorgesehen sind.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) ein Gehäuse (24) oder einen lichtleitenden Körper mit einer vorzugsweise mittig im Detektionsstrahlengang (8) anordenbaren optischen Öffnung (25) für das unter einem bestimmten Winkel einfallende, zurückkehrende

Licht (10) umfaßt und daß das einfallende Licht (10) entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen (26, 27) entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an vorzugsweise gegenüberliegenden Pinholes (20) im jeweiligen Brennpunkt (21) zu Detektoren hin teilausgeblendet wird. 5

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes (20) ausgeführt sind. 10

12. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) parallel zueinander ausgebildet sind.

13. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) von der optischen Öffnung (25) ins Innere des Gehäuses (24) oder Körpers divergieren. 15

14. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der beiden Reflexionsflächen (26, 27) stufig ausgebildet ist und sich dabei von der optischen Öffnung (25) ins Innere des Gehäuses (24) oder Körpers von der anderen Reflexionsfläche (26, 27) entfernt. 20

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die stufige Reflexionsfläche (26, 27) im Bereich jeder Teilfläche ein Pinhole (20) aufweist. 25

16. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß in den gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) gruppenweise Pinholes (20) zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sind. 30

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) mehrere mit vorgegebenem Winkel zueinander angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen (26) mit Pinholes (20) aufweist und vorzugsweise im Sinne einer Polygonanordnung ausgeführt ist. 35

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlauskoppler (9) als Spaltsystem mit mehreren nebeneinander liegenden Spalten (28) zur parallelen Detektion der x- und z-Koordinaten des rückkehrenden Lichts (10) ausgebildet ist, so daß eine simultane Detektion mehrerer Bildpunkte in einer Brennebene (30) möglich ist. 40

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlauskoppler (9) im Detektionsstrahlengang (8) vorzugsweise zentral in den jeweiligen Brennpunkten (13) des zurückkehrenden Lichts (10) endende Lichtleitfasern vorgesehen sind. 45

20. Anordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfasern das ausgekoppelte Licht (11) einem Fotomultiplier zuführen.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß dem Strahlauskoppler (9) ein Detektorarray (19) nachgeschaltet ist. 50

22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß dem Strahlauskoppler (9) Dioden nachgeschaltet sind. 60

23. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlauskoppler (9) und Detektor im Detektionsstrahlengang (8) vorzugsweise zentral angeordnete Dioden in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts (10) vorgesehen sind, die als positionsempfindliche Dioden arbeiten. 65

24. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 23,

dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (2) im wesentlichen über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtbar ist.

25. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß zur polyfokalen Beleuchtung eine Laserlichtquelle vorgesehen ist.

26. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die polyfokale Beleuchtung durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen (29), Hologramme, etc. erzeugt wird, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen (30) erfolgt.

27. Verfahren zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils (1) beliebiger Objekte (2), insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen, mit einer Lichtquelle (3) zur Beleuchtung des Objekts (2), einer Optik (4) zur Fokussierung der von der Oberfläche (1) des Objekts (2) zurückkehrenden Lichtsignale (5), einem die Lichtsignale (5) aufnehmenden Detektor (6) und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor (7), vorzugsweise zur Anwendung einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß das aus unterschiedlichen Bildebenen zurückkehrende Licht (10) aus dem Detektionsstrahlengang (8) im Bereich nach der Optik (4) und vor dem Detektor (6) ausgekoppelt wird und daß das ausgekoppelte Licht (11) dem Detektor (6) zugeleitet wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (2) über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtet wird.

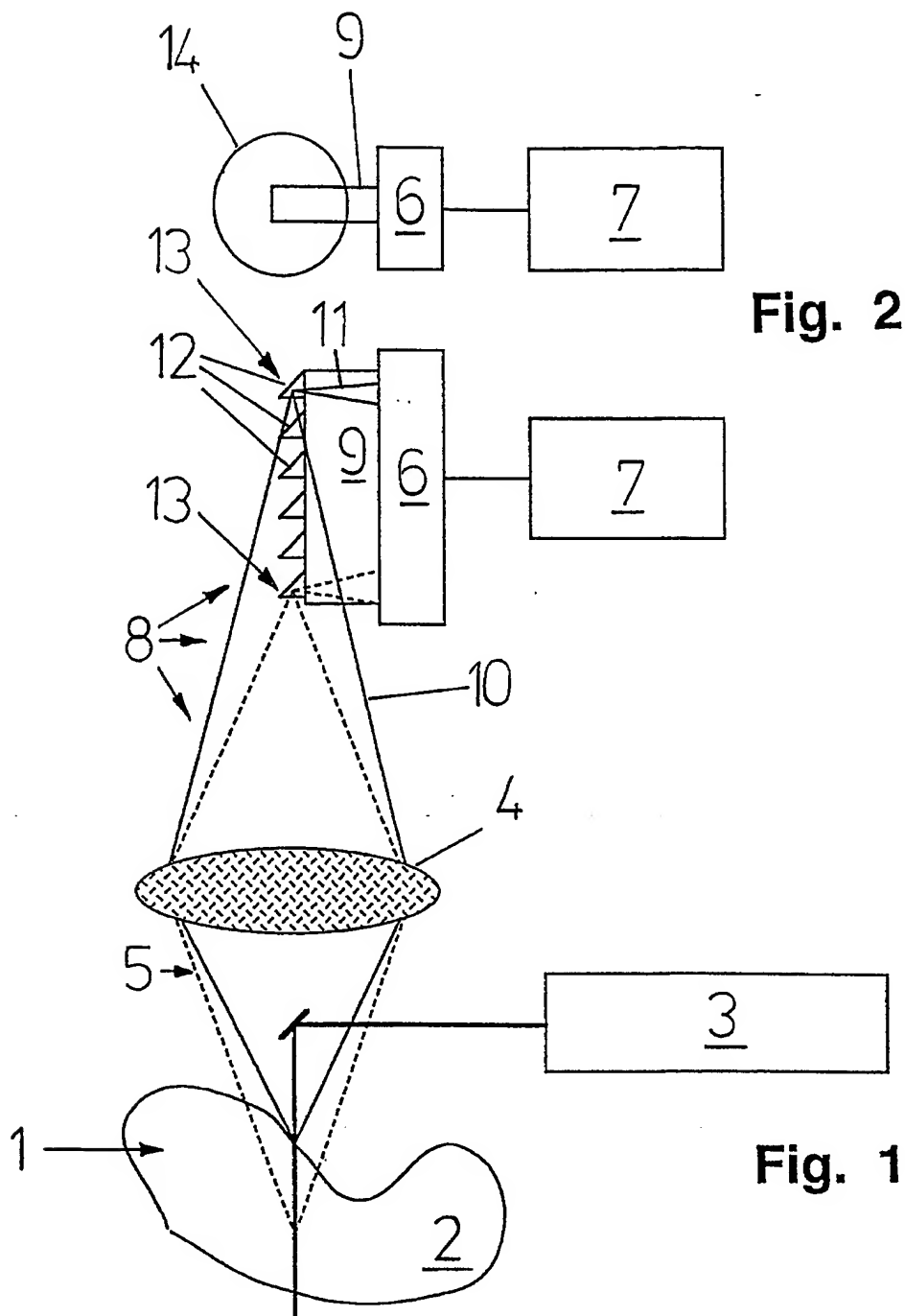
29. Verfahren nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, daß eine polyfokale Beleuchtung des Objekts (2) durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen (29), Hologramme oder ähnliches erzeugt wird, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen (30) erfolgt.

30. Verwendung einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26 unter Nutzung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 27 bis 29 zum Lesen digitaler bzw. binärer Informationen aus mehreren Ebenen eines dreidimensionalen optischen Datenträgers.

31. Verwendung einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26 unter Nutzung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 27 bis 29, ggf. nach Anspruch 30, zum Schreiben digitaler bzw. binärer Informationen auf mehrere Ebenen eines dreidimensionalen optischen Datenträgers.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



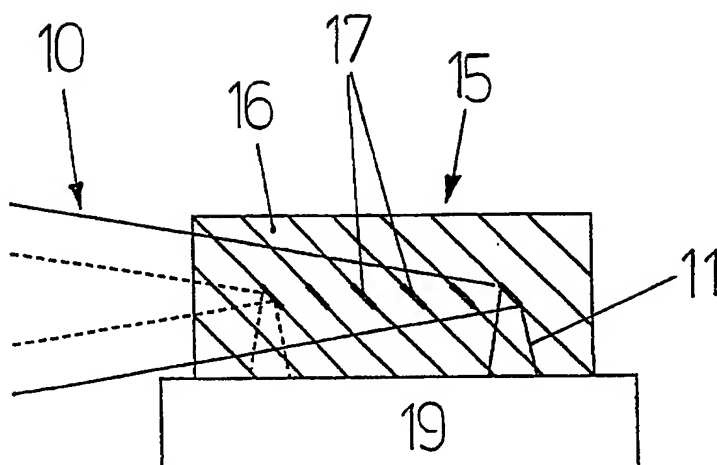


Fig. 3

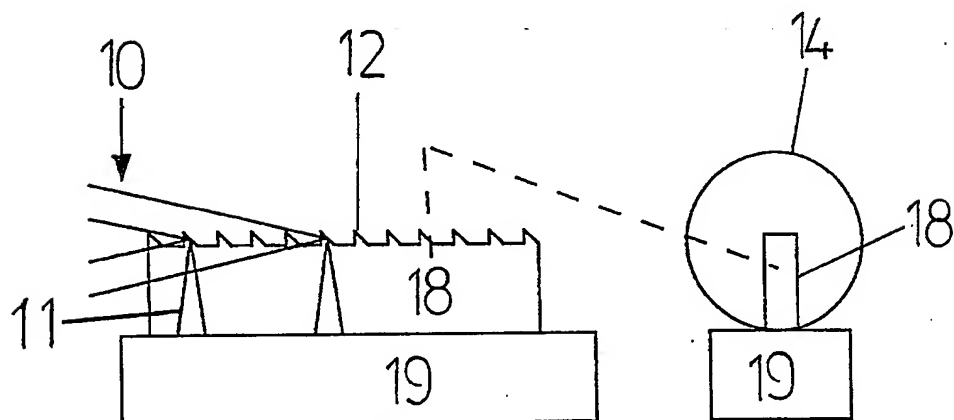


Fig. 4

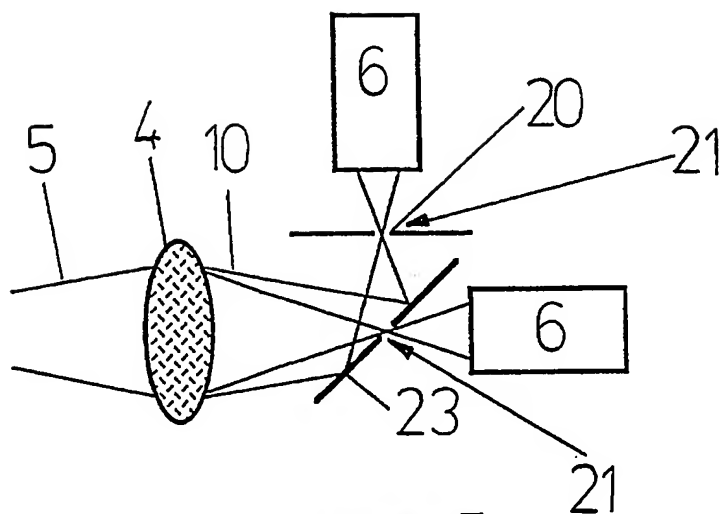


Fig. 5

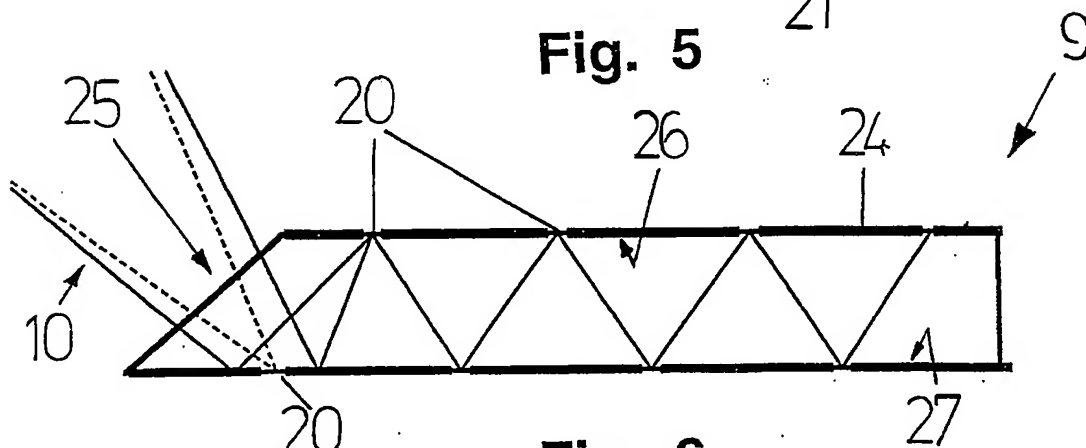


Fig. 6

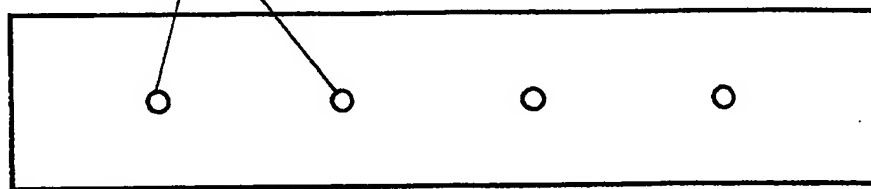


Fig. 7

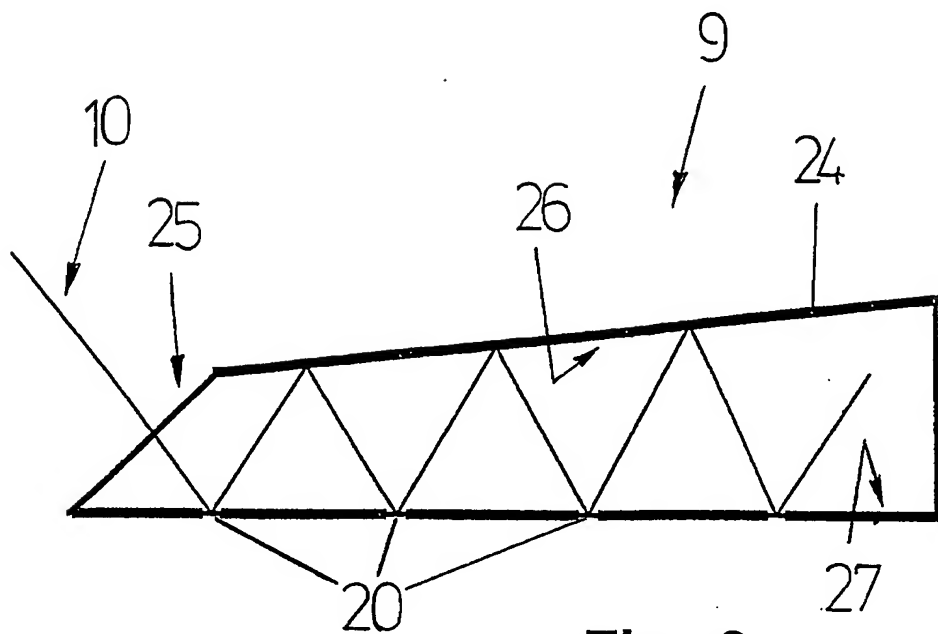


Fig. 8

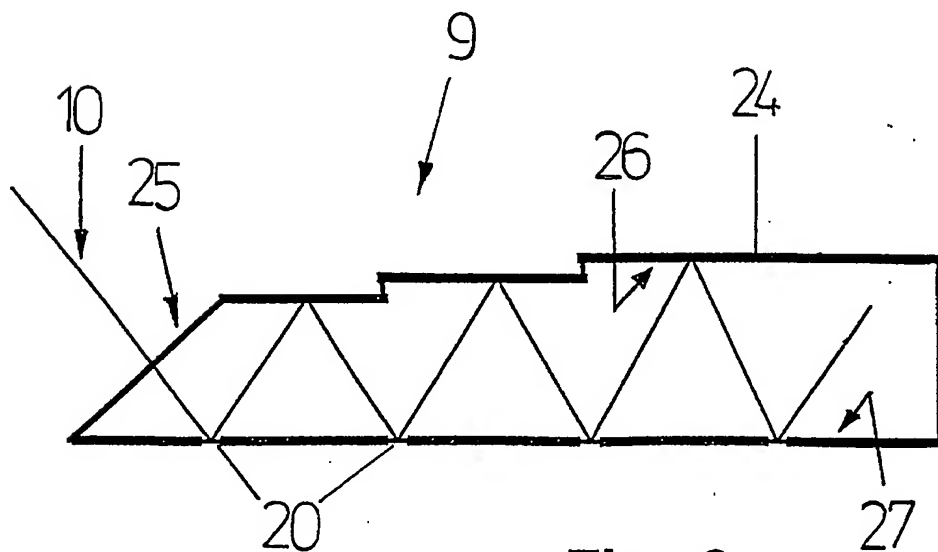


Fig. 9

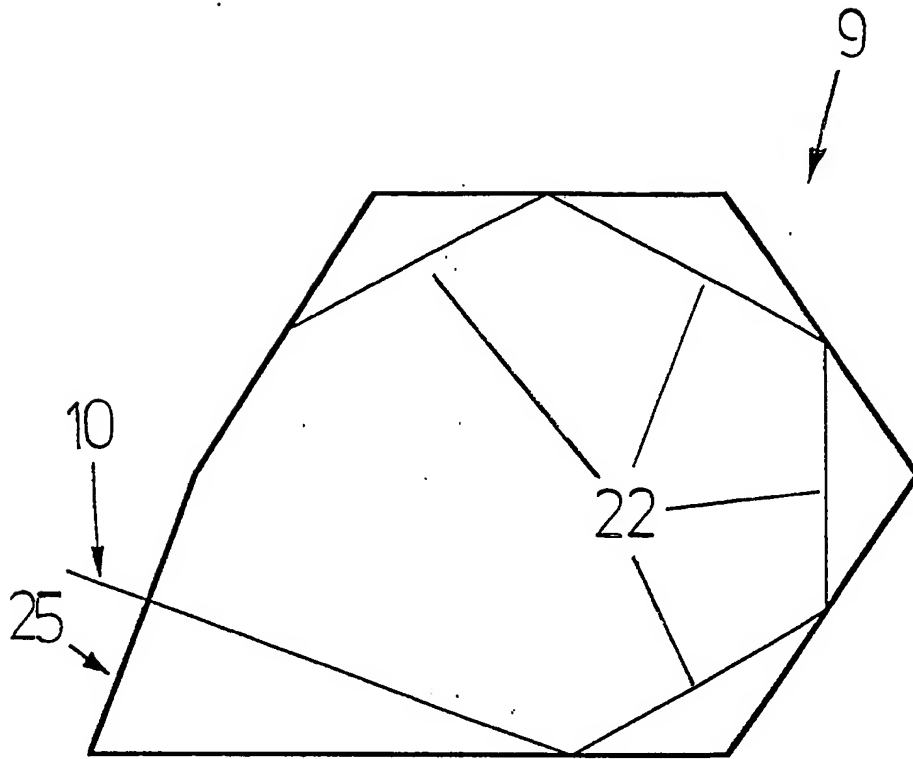


Fig. 11

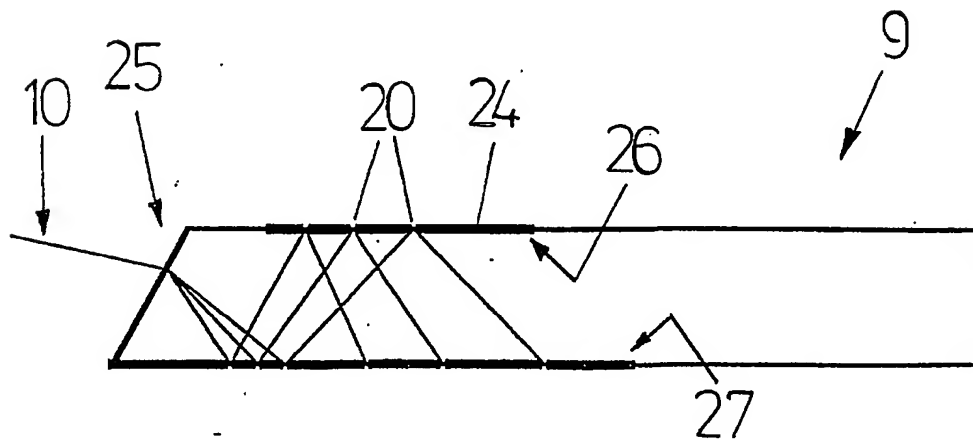


Fig. 10

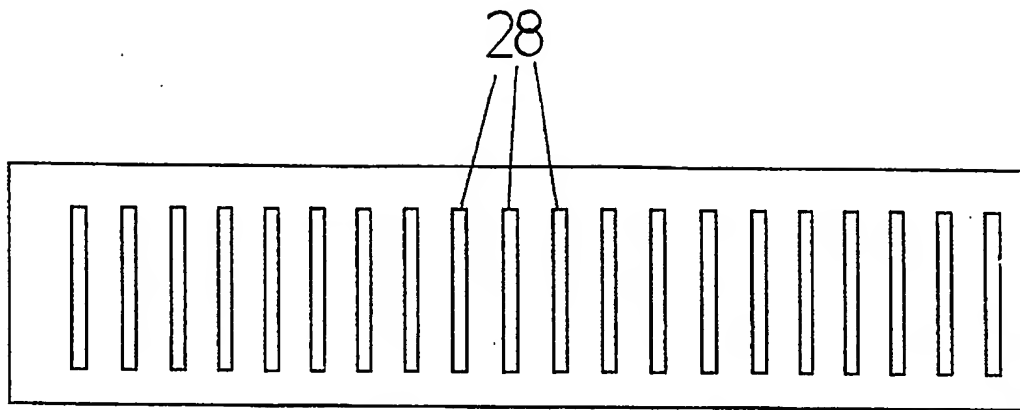


Fig. 12

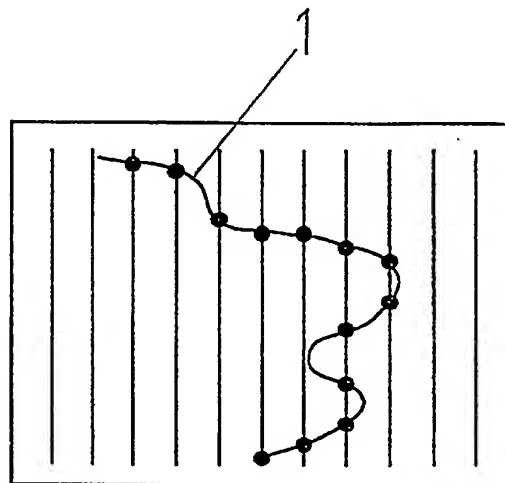


Fig. 13

